

# ¡ Bienvenido a la revista Nuestra Cabaña !

## nuestra cabaña

### Imagínese...

...Poder hojear su revista profesional favorita siempre que lo desee...

Encontrar ese artículo que se publicó hace tiempo, sin tener que rebuscarlo entre un montón de revistas...

Poder documentarse en tiempo real sobre los temas que usted necesita para su trabajo...

En Grupo TecniPublicaciones hace tiempo que llevamos imaginando la ganancia de eficacia y rentabilidad que supondría para usted poder acceder 'on-line' a nuestras publicaciones. Y nos pusimos manos a la obra. Hoy ponemos a su disposición el fruto de un esfuerzo coordinado entre periodistas, documentalistas e informáticos. Un esfuerzo encaminado a un único propósito: **hacer más fácil su trabajo diario.**

### ¡ Hoy la realidad alcanza a su imaginación !

Ahora puede acceder a su revista profesional favorita en **formato PDF.**

- La podrá consultar siempre que quiera ¡incluso antes de haberse impreso la propia revista!
- Y podrá encontrar sin ningún esfuerzo aquellos **artículos y estudios necesarios** para su trabajo mediante nuestra [herramienta de búsqueda.](#)

### Opciones 'online'

#### Oferta...

...si se suscribe conjuntamente a  
**AMDPress Plus** y la revista  
**Nuestra Cabaña**

**ahorrará  
cerca de un 50%**

Pulse en la opción que desee

“ Oferta de suscripción

“ Suscríbese a la revista

“ Solicitar ejemplar

“ Información en la web



Atención al Suscriptor

**902 999 829**



E-mail

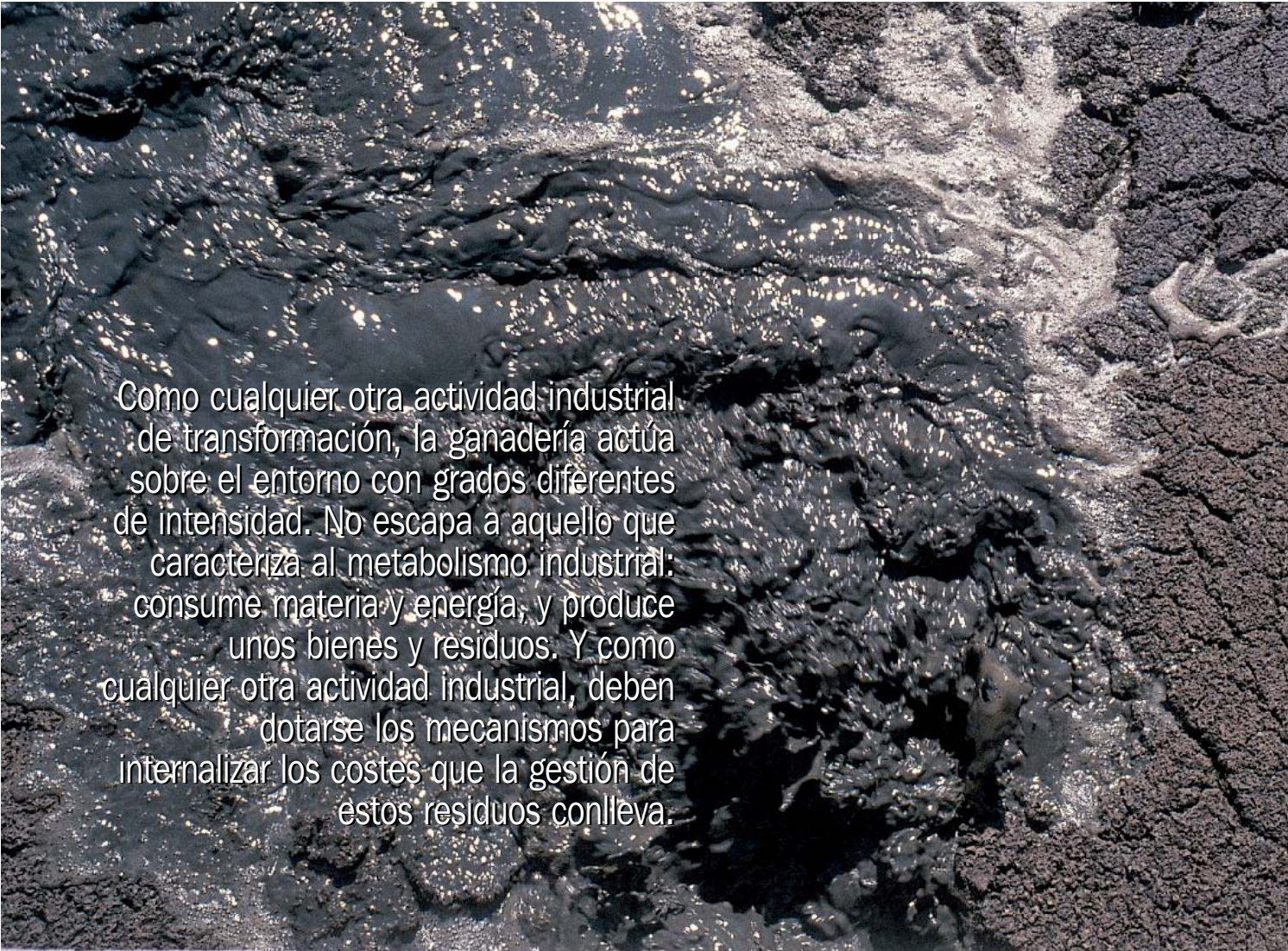
[telemarket@tecnicpublicaciones.com](mailto:telemarket@tecnicpublicaciones.com)

El suelo es un valor patrimonial y no un vertedero

# Tecnologías de tratamiento de purines de cerdo

Xavier Flotats y Jordi Palatsi

Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Universidad de Lleida



Como cualquier otra actividad industrial de transformación, la ganadería actúa sobre el entorno con grados diferentes de intensidad. No escapa a aquello que caracteriza al metabolismo industrial: consume materia y energía, y produce unos bienes y residuos. Y como cualquier otra actividad industrial, deben dotarse los mecanismos para internalizar los costes que la gestión de estos residuos conlleva.

Figura 1. Reactor anaerobio tipo UASB



**Tabla 1. Síntesis de operaciones aplicables al tratamiento de residuos ganaderos, en especial a purines de cerdo (T: residuo íntegro; S: fracción sólida; L: fracción líquida)**

Proceso	Aplicado a fracción S, L, o T	Objetivo	Necesidades energéticas limitantes
1. Balsas homogeneización, estercoleros	T, S, L	Regular la producción continua al consumo estacional de cultivos. Regular entradas discontinuas a plantas de tratamiento. Reducir patógenos	
2. Separación de fases	T	Separar para propiciar líneas específicas de tratamiento, transporte o aplicación a fracción S o L resultante	Energía eléctrica
3. Aplicación de enzimas y bacterias a balsas	T	Aumentar concentración de sólidos. Transformar N amoniacal a orgánico	
4. Nitrificación	L	Transformar N amoniacal a nítrico	Energía eléctrica
5. Desnitrificación	L	Transformar N nítrico a $N_2$ . Eliminar materia orgánica fácilmente degradable	
6. Descomposición aeróbica heterótrofa	L, T	Eliminar materia orgánica	Energía eléctrica
7. Digestión anaerobia	T, L, S	Producir $CH_4$ (energía). Eliminar materia orgánica. Higienizar	
8. Compostaje	S	Eliminar/estabilizar materia orgánica. Higienizar. Obtener abono orgánico de calidad	Energía mecánica/eléctrica
9. Reducción biológica de fósforo (P)	L	Transferir P soluble a fase biológica sedimentable. Eliminar materia orgánica fácilmente degradable.	Energía eléctrica
10. Precipitación química	L	Transferir algunos componentes a fase sedimentable. Separar P (apatitas, estruvita)	
11. Secado/peletización	S	Separar agua. Reducir volumen	Energía térmica
12. Evaporación/ concentración	L	Separar agua. Reducir volumen	Energía térmica
13. Stripping/absorción	L	Recuperar N amoniacal	Energía eléctrica/térmica
14. Higienización térmica	T	Eliminar/inactivar patógenos. Hidrólisis térmica	Energía térmica
15. Dosificación de aditivos	T, S, L	Modificar composición para adecuarla a cultivos o posibilitar otros procesos	
16. Ozonización	L	Oxidación compuestos orgánicos recalcitrantes	Energía eléctrica
17. Filtración en membrana/osmosis inversa	L	Separar sales. Reducir conductividad	Energía eléctrica

**LA SITUACIÓN** actual está caracterizada por una serie de paradojas. Mientras que el nitrógeno contenido en los residuos orgánicos se presenta como excedentario en muchas zonas del país, España continua importando productos proteicos base para la producción de piensos, con elevado contenido nitrogenado. Mientras que el uso de purines y estiércoles como fertilizantes y enmiendas se plantea como la solución idónea para el reciclado de los nutrientes, paralelamente no se plantea la substitución correspondiente de fertilizantes minerales clásicos. Asimismo, en la actualidad el mercado del estiércol aplicable a los suelos, como abono o enmienda orgánica, encuentra competencia: fangos de estaciones depuradoras, residuos orgánicos de la industria alimentaria y fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. Esta situación de competencia es positiva a fin de tender a un mercado que evolucione hacia cotas de calidad en los productos que se aplican a los suelos y cultivos, pero requiere de un marco global que ordene esta evolución y de las herramientas de gestión, control y tecnológicas que lo hagan posible (Flotats, 2000).

Uno de los principios inspiradores básicos, para la creación del marco global del conocimiento, es el considerar que el suelo no es un vertedero, sino un valor patrimonial que hay que conservar y, en su caso, mejorar.



Este principio básico implica que al suelo y a los cultivos no se les puede aplicar residuos, sino productos de calidad comprobada y contrastada. Implica, también, que los residuos orgánicos han de modificar sus características mediante los procesos tecnológicos de transforma-

---

Al suelo y a los cultivos  
no se les puede aplicar residuos,  
sino productos  
de calidad comprobada  
y contrastada

ción que permitan obtener productos de calidad.

Un último concepto, implícito en todo lo mencionado hasta ahora, es el de la gestión integrada de residuos de diversos orígenes por áreas geográficas. Las mezclas pueden permitir composiciones adecuadas a un suelo o cultivo concreto, pueden mejorar el perfil de un proceso de tratamiento y pueden abaratar costes de transporte. Asimismo, la gestión integrada puede permitir pasar de una situación de competencia por el suelo agrícola a otra de complementariedad.

La herramienta básica de toma de decisiones, y de ordenación de las actuaciones, ha de ser el plan de gestión de los residuos orgánicos en el área geográfica objeto de éste. Este plan puede ser individual, por cada granja, o colectivo (por granjas o por área geográfica).

### Planes de gestión

Un plan de gestión de residuos ganaderos es un programa, individual o colectivo, de actuaciones que conduzcan a adecuar la producción de residuos a las necesidades de los cultivos, en el espacio y en el tiempo. Un plan de gestión ha de incluir otros residuos orgánicos, producidos en la zona geográfica objeto de estudio, susceptibles de ser aplicados, también, a suelos y cultivos. Un plan de gestión ha de contemplar actuaciones en los tres ámbitos que se indican a continuación, por orden de prioridad.

**Medidas de reducción en origen**  
-Medidas de reducción de caudales. Esta medida es especialmente importante

para los purines de cerdo, los cuales tienen un contenido en agua superior al 90%. Su aplicación se ha traducir en un ahorro en los costes de transporte y tratamiento.

*-Medidas de reducción de componentes*, tales como nitrógeno, fósforo, potasio y metales pesados. Su aplicación concierne a la modificación de las dietas del ganado, y se ha de ver compensada con la posibilidad de aplicar dosis superiores de purines en cultivos próximos, reduciendo costes de transporte.

Estas medidas tienen asociados costes de producción, pero también reducción de costes de gestión y tratamiento de los purines. La internalización de los costes ambientales se presenta como una herramienta necesaria para determinar la relación óptima.

## Plan de aplicación a suelos y cultivos

Un plan de aplicación, o de fertilización, se ha de confeccionar a partir del conocimiento de la composición

de los residuos, o de los productos derivados de ellos, el mapa de suelos de la zona de aplicación, y características de los cultivos, del sistema agrícola, climatológicos y hidrológicos. El balance de nutrientes entre los contenidos en los residuos ofertados y la demanda de los cultivos, las demandas externas a la zona de aplicación del plan, y los costes de transporte asociados, definen la posible problemática a la que los tratamientos han de dar solución. Asimismo, el plan de aplicación estacional a los cultivos incide directamente en el volumen necesario de almacenamiento en las granjas. La ejecución del plan comporta dificultades extremas si hay que gestionar gran cantidad de parcelas, con cultivos y tipologías de suelos diferentes. Si a la vez hay que gestionar muchas granjas, es necesario el uso de aplicaciones informáticas (Calvo, 2002)

## Tratamientos

Una estrategia de tratamiento de un residuo es una

combinación de procesos unitarios con el objetivo de transformar los residuos a fin de adecuarlos a la demanda como productos de calidad. La definición anterior comporta un cambio en la apreciación popular sobre el tratamiento de residuos y obligan a un cambio en la nomenclatura, primando los conceptos de recuperación o creación de nuevos productos a partir de residuos orgánicos. El tratamiento de residuos es una nueva actividad industrial de importancia estratégica y deben utilizarse términos que la dignifiquen.

La idoneidad de una estrategia de tratamiento dependerá de cada zona geográfica, de las necesidades que hayan puesto de manifiesto los estudios preliminares del plan de gestión, de la calidad del producto final obtenido y de los costes asociados. En todo caso, el objetivo básico que hay que perseguir es el de aumentar la capacidad de gestión sobre el residuo. Los objetivos a cumplir por los tratamientos pueden ser múltiples, pudiendo ser:

- Adecuar la producción de residuos a las necesidades estacionales de los cultivos;
- Transportar fuera de la

zona de aplicación del plan de gestión;

-Valorar económicamente el residuo;

-Adecuar la composición a los requerimientos del entorno (suelos, cultivos, malos olores, eliminar parte del nitrógeno...);

-Extraer y recuperar nutrientes valorizables (nitrógeno, fósforo, ...);

-Higienizar: reducir o eliminar patógenos;

-Producir energía;

-Aislar; en caso de no ser posible su valorización o no cumplir los requerimientos de calidad, previa estabilización y/o valorización.

En la Tabla 1 se sintetizan las características básicas de los procesos susceptibles de ser aplicados en la estrategia de tratamiento, indicando las formas de energía necesarias limitantes del proceso. En todos los casos, la energía eléctrica se refiere al consumo de energía mecánica para separar fases, agitar o transferir O<sub>2</sub>. Una combinación de estos procesos corresponderá a una estrategia de tratamiento. No existe una estrategia de tratamiento única. La idoneidad de una u otra, y la posibilidad de éxito, se verá influenciada por las condiciones del entorno, los ob-

**Tabla 2. Factores considerados en la evaluación de estrategias de tratamiento**

Con valoración positiva	
1	1. Flexibilidad de la tecnología
	2. Balance energético positivo
2	3. Utilización de energía térmica residual, obtenida en el propio proceso o aprovechada de un proceso exterior
3	4. Calidad de los productos obtenidos, sólidos o líquidos
Con valoración negativa	
4	1. Riesgo de emisiones atmosféricas
	2. Necesidad de aditivos químicos
	3. Coste económico relativo, de inversión y de explotación
5	4. Importancia relativa de procesos de depuración de efluentes líquidos.
	5. Dependencia energética exterior
	6. Dependencia de una operación o proceso crítico

El balance de nutrientes entre los contenidos en los residuos ofertados y la demanda de los cultivos, las demandas externas y los costes de transporte, definen la problemática



## El mercado ha de poder absorber los productos que se obtengan del tratamiento de residuos y ha de poder ser regulado para evitar productos de calidad fraudulenta

jetivos planteados en el plan de gestión local y la escala de tratamiento (individual o colectivo).

En general, las tendencias legislativas a nivel europeo priman la introducción de los procesos de compostaje y digestión anaerobia, por separado o integrados en la estrategia de tratamiento, para obtener productos orgánicos estables, mineralizados, higienizados, ahorrar energía o minimizar emisiones gaseosas. La tendencia legislativa y la necesidad de primar la recuperación de compuestos a fin de reintroducirlos en los ciclos productivos, crean problemas locales allí donde la demanda de productos recuperables es muy inferior a la oferta de éstos. Éste es el caso de las zonas excedentarias de nutrientes. En estas zonas se pueden adoptar tres tipos de soluciones genéricas: 1) Cerrar granjas y localizarlas de nuevo en zonas deficitarias en nutrientes; 2) Reducir el volumen de los residuos y modificar su calidad a fin de favorecer el transporte a zonas donde el mercado los acepte; 3) Depurar, eliminando o apartando de los circuitos de reciclaje los residuos o parte de sus componentes.

Los tres tipos de soluciones pueden ser complementarias

en muchas zonas del país. La solución 2) es operativa en áreas, como la española, donde se pueden compensar zonas excedentarias en nutrientes con otras de deficitarias. El mercado ha de poder absorber los productos que se obtengan del tratamiento de residuos y ha de poder ser regulado para evitar productos de calidad fraudulenta. La solución 3) se refiere a la eliminación de nitrógeno mediante la combinación de los procesos de nitrificación/desnitrificación. Si el balance de nutrientes aporta un excedente en fósforo, igualmente deberá recurrirse a soluciones de tipo 2 intentando producir precipitados de sales de fósforo para su transporte asequible fuera de la zona de aplicación del plan. Sólo la materia orgánica y el nitrógeno tienen la consideración de eliminables.

### Condiciones de contorno que afectan a la implantación de tratamientos

Los condicionantes de contorno que afectan a la implantación, definición y éxito de tratamientos de residuos orgánicos son:

- Características de cada residuo;
- Costes y precios de la energía;
- Distancias y costes de transporte;
- Demanda de fertilizantes (minerales, enmiendas orgánicas,...);
- Prácticas de manejo de las granjas;
- Posibilidad de tratamiento conjunto de residuos orgánicos diferentes;
- Aceptación por parte de la población, en caso de tratamiento colectivo.

Las características de cada residuo favorecen o penalizan posibles estrategias de tratamiento. Una estrategia tecnológica bien elaborada y asequible económicamente puede ser una mala solución si el residuo no cumple con unas condiciones determinadas de composición y temporalidad en la generación. Así, el potencial de producción de metano de purines de cerdo almacenados durante

5 meses bajo emparrillado es del orden de 25% del potencial inicial de éstos; asimismo, un tratamiento térmico para favorecer la hidrólisis puede aumentar el potencial de producción de metano en un 60% para purines recién generados, mientras que puede hacerlo disminuir en un 30% para purines envejecidos bajo emparrillado (Bonmatí *et al.*, 2001). En general, mantener altos tiempos de retención de purines bajo emparrillado limita la viabilidad de procesos posteriores de tratamiento que requieran materia orgánica biodegradable, como desnitrificación, digestión anaerobia o compostaje de la fracción sólida, debido a que la descomposición que se pretende controlar y aprovechar se ha realizado con anterioridad de forma incontrolada.

A partir de datos de seguimiento de la composición de purines en granjas se pueden realizar las siguientes consideraciones (Bonmatí, 2001):

- Rango de variabilidad en la composición muy amplio, lo cual imposibilita la estandarización de métodos de tratamiento y obliga a un seguimiento permanente para adecuar las dosis de aplicación a cultivos.

- Elevado contenido en agua, lo cual limita económicamente cualquier práctica que conlleve transporte.

- Baja concentración de materia orgánica en comparación con otros residuos orgánicos. Junto con la elevada concentración de nitrógeno amoniacal con relación al orgánico, sitúa a los purines más cer-

Una estrategia tecnológica bien elaborada y asequible económicamente puede ser una mala solución si el residuo no cumple con unas condiciones determinadas

ca de un fertilizante mineral que de una enmienda orgánica. También implica un bajo potencial de producción de biogas y la dificultad de integrar la digestión anaerobia con la desnitrificación sin un aporte externo de materia orgánica.

- Materia orgánica mayoritariamente en forma particulada, lo cual implica

que la velocidad de descomposición está limitada por el proceso de hidrólisis.

- Elevada concentración de macronutrientes (N, P y K), lo cual sitúa la aplicación como fertilizante en la máxima prioridad

- Presencia de metales pesados (Cu y Zn), lo cual limita cualquier uso. En las concentraciones de Cu pre-

sentes en algunas granjas de engorde ( $> 100 \text{ mg/kg}$ ), éste puede ser tóxico para algunos procesos biológicos de tratamiento. La reducción de estos metales en las dietas se aprecia como el paso necesario para aumentar la capacidad de uso, gestión y tratamiento de los purines.

- Elevada alcalinidad, lo cual asegura estabilidad en el pH y la aplicabilidad de procesos como la digestión anaerobia o la nitrificación. También hace adecuados a los purines como co-substrato de digestión anaerobia de otros residuos orgánicos. Por el contrario, encarece los procesos que requieren una modificación del pH.

Una forma de superar limitaciones impuestas por

las características de un residuo es la co-gestión y tratamiento conjunto con otros residuos, de forma que se compensen carencias mutuas y se aprovechen las sinergias que aporta la complementariedad (Campos, 2001; Flotats y Campos, 2001; Flotats *et al.*, 2001).

De entre los condicionantes, los costes de transporte y el precio de la energía tienen un efecto directo y definitorio sobre la viabilidad económica de estrategias de tratamiento colectivo en zonas excedentarias en nutrientes y con alta densidad de granjas de porcino. El *Real Decreto 2818/98* de producción de energía eléctrica en régimen especial favorece económica-

Los costes de transporte y de la energía tienen un efecto directo sobre la viabilidad económica de estrategias de tratamiento colectivo en zonas excedentarias en nutrientes

**NUEVO MITSUBISHI PICK-UP L200 115CV**

EL ÚNICO TODOTERRENO CON EL QUE PODRÁS DEMOSTRAR LO LEJOS QUE HAS LLEGADO. Transmisión Easy-Select 4x4. Nuevo motor turbodiesel Intercooler de 115 CV. Caja con capacidad para más de 1.000 kg de carga. Doble cabina de 5 plazas, Club Cab de 4 plazas o Single Cab de 2 plazas. Gama 4x4 desde 15.810€ y Gama 4x2 desde 11.717€. 3 años de garantía sin límite de kilometraje. Asistencia 24h. en toda Europa. IVA, transporte e impuesto de matriculación no incluidos.

[www.mitsubishi-motors.es](http://www.mitsubishi-motors.es) Red de Concesionarios: 902 20 10 30

**MITSUBISHI MOTORS**



mente los tratamientos de reducción de volumen de residuos orgánicos, de lodos de depuración y de purines explícitamente. También se prima la producción de energía eléctrica a partir de biogas obtenido de la fermentación anaerobia de residuos biodegradables, a pesar que con un valor de las tarifas significativamente inferior a las de países del entorno europeo. Las tarifas pueden ser coyunturales, pero las tendencias legislativas a nivel europeo apuntan a la implantación de energías renovables (producción de biogas en este caso) y de sistemas de producción energética de alta eficiencia, y por tanto a encontrar usos interesantes y sostenibles de la energía térmica residual. Esto favorece procesos intensivos en energía térmica para la recuperación de componentes valorizables. En este sentido, la combinación de la digestión anaerobia y el stripping a 80°C con recuperación de sales amoniacales se ha mostrado mucho más eficaz que el stripping de purines frescos (Bonmatí y Flotats, 2003<sup>1</sup>). También ha sido así en el caso de combinar la digestión anaerobia y la evaporación con recuperación de condensados, con una calidad de condensados muy superior a los obtenidos de la evaporación de purines sin digerir (Bonmatí y Flotats, 2003<sup>2</sup>). La aplicación de los beneficios que aporta el *Real Decreto* sólo son aplicables en limitadas zonas geográficas, caracterizadas por una elevada densidad de granjas a corta distancia de la planta colectiva de tratamiento, y

siempre considerando procesos que eviten las emisiones atmosféricas.

## **Evaluación de estrategias de tratamiento**

Los procesos de la Tabla 1 pueden combinarse de forma diferente para cumplir objetivos concretos, dependiendo del escenario aportado por el plan de gestión. Para residuos orgánicos en general se han considerado 52 estrategias posibles, definidas por 36 diagramas de flujo y 16 variantes de algunos de ellos. La valoración de las estrategias de tratamiento se ha realizado en función de los escenarios considerados y de los objetivos a cumplir según éstos:

1.- Equilibrio entre la producción anual de residuos orgánicos y las necesidades de los cultivos. En este escenario se puede pretender regular caudales, cubrir necesidades específicas de los cultivos, producir energía y estabilizar materia orgánica, o bien modificar las características de los residuos.

2.- Excedentes de residuos orgánicos frente a las necesidades de los cultivos, pero con demandas fuera de la zona de aplicación del plan de gestión. En esta situación son posibles varios objetivos: Obtención de enmiendas orgánicas; Obtención de fertilizantes minerales; Obtención conjunta de los dos anteriores.

3.- Excedentes en la zona del plan de gestión, sin demandas fuera de esta zona. Los objetivos han de ser reducir el volumen, estabilizar y eliminar contaminantes.

La valoración de las alternativas para los diferentes crite-

rios de valor, y la influencia de los condicionantes u objetivos, se ha realizado de forma independiente para cada escenario, asignando diferentes pesos relativos. Se ha di-

ferenciado entre estrategias de tratamiento aplicables a residuos sólidos o a residuos de consistencia líquida, y se ha considerado la posible disponibilidad de una fuente de





energía térmica. Los factores considerados para definir criterios de valor y evaluar las estrategias de tratamiento de residuos orgánicos se indican en la Tabla 2.

Aplicando los criterios de valor y ponderando su peso relativo, se ha obtenido una valoración de cada estrategia posible, de las cuales las mejor evaluadas para

purines de cerdo se indican en la Tabla 3. Sobre las estrategias mejor evaluadas se ha realizado una prospección económica de los costes de tratamiento (cos-

tes de amortización, para una vida útil de 15 años, más costes de operación), basada en información aportada por empresas con realizaciones prácticas a nivel



**Tabla 3. Estrategias mejor evaluadas en cada escenario para purines de cerdo, con intervalo de costes para aquellas de las que se han obtenido referencias económicas. El coste por tonelada de purines se iguala, aproximadamente, con el coste en €/kg de peso vivo de animal engordado. Escenarios: 1) Sin excedentes en la zona de aplicación del plan de gestión; 2) Excedentes con demandas fuera de la zona del plan de gestión; 3) Excedentes sin demandas exteriores.**

Objetivo	Diagrama básico	Comentario	Intervalo de costes (€/Tm)
1. Regulación de caudales	1	Coste función del volumen	NSC
1. Cubrir necesidades específicas de los cultivos	2-S(1)-L(1)	Aplicación agrícola de fracción sólida a parcelas lejanas; aplicación de la líquida a parcelas cercanas	0.5 – 1
	2-S(8)-L(1)	Aporte de fuente de carbono y estructurante a fracción sólida; aplicación de proceso de compostaje de forma muy controlada	4.5 – 8
	2-S(8)-L(6)	Compostaje simple de bajo control	3 - 5
	2-S(1)-L(6)	Maduración de fracción sólida en almacenamiento	1.5 – 2.6
1. Producción de energía. Eliminación/estabilización de materia orgánica	7	Venta sólo de energía eléctrica. Codigestión para aumentar la producción de biogas	
		Venta de energía eléctrica y ahorro de fuente de energía térmica. Codigestión para aumentar la producción de biogas	0 - 10
	2-S(8)-L(7-6)	Tratamiento anaerobio inicial de la fracción líquida	SRE
1. Modificar relación NPK	3 y/o 15		NSC
2. Demanda de enmiendas orgánicas: obtención de una enmienda orgánica estructurada, estable, higienizada y de calidad (compost). Eliminar parte del N.	2-S(8)-L(5-4)	Compostaje simple de bajo control. Eliminación de nitrógeno de la fracción líquida mediante nitrificación-desnitrificación	4.5 - 7
	2-S(1)-L(5-4)	Maduración de fracción sólida en almacenamiento. Eliminación de nitrógeno de la fracción líquida mediante nitrificación-desnitrificación	3.5 – 5.7
	2-S(7-8)-L(5-4)	Eliminación de nitrógeno de la fracción líquida. Digestión anaerobia de fangos y fracción sólida, con compostaje posterior	3.5 - 6
	2-S(7-1)-L(5-4)	Eliminación de nitrógeno de la fracción líquida. Digestión anaerobia de fangos y fracción sólida, con maduración posterior en almacenaje	3
	7-2-S(8)-L(12&13)	Digestión anaerobia inicial. Compostaje de fracción sólida. Recuperación de sales de amonio de la fracción líquida	SRE
2. Demanda de fertilizantes minerales: obtención de un producto seco, de fácil transporte y mineralizado. Obtención de N en forma amoniacal o nítrica	7-2-S(1)-L(5-4)	Digestión anaerobia y separación de fracciones sólida y líquida, con eliminación parcial (por falta de carbono orgánico) de nitrógeno de la fracción líquida	SRE
	7-2-S(1)-L(13)	Digestión anaerobia y separación de fracciones sólida y líquida, con recuperación de sales de amonio de la fracción líquida.	1.5 – 12.5
	7-2-S(11)-L(12)	Tratamientos térmicos en circuito cerrado con modificación de pH y recuperación de condensados. Secado de fracción sólida y concentrado de proceso de evaporación. Con compra de energía térmica exterior	25.7 – 28.6
	7-2-S(11)-L(12)	Igual que anterior, pero con energía térmica cedida gratuitamente por central térmica	10.4 – 17.7
	7-2-S(11)-L(12)	Igual que anterior, pero con energía térmica obtenida en central propia de cogeneración, con venta de energía eléctrica	0
2. Demanda de fertilizantes orgánicos y minerales	2-S(8)-L(7-6)	Tratamiento anaerobio inicial de la fracción líquida	SRE
	7-2-S(8)-L(12&13)	Digestión anaerobia inicial. Compostaje de fracción sólida. Recuperación de sales de amonio de la fracción líquida	SRE
	2-S(8)-L(7-12&13)	Tratamiento anaerobio de la fracción líquida y obtención de sales de amonio de esta fracción	SRE
3. Excedentes sin posible demanda: reducción de volumen, eliminar parte del N, separar otros nutrientes. Obtener una fracción sólida estable y de fácil transporte	7-2-S(8)-L(5-4)	Digestión anaerobia inicial. Compostaje de la fracción sólida. Eliminación de nitrógeno de la fracción líquida. Necesario añadir fuente de carbono y estructurante para compostaje y fuente de carbono para desnitrificar	SRE
	2-S(8)-L(5-4)	Compostaje simple de bajo control. Eliminación de nitrógeno de la fracción líquida mediante nitrificación-desnitrificación	4.5 - 7
	7-2-S(11)-L(5-4)	Digestión anaerobia inicial. Separación de fracciones sólida y líquida. Secado de la fracción sólida. Eliminación de nitrógeno de la fracción líquida, con aporte de carbono orgánico para desnitrificar.	SRE

La numeración de los procesos que integran el diagrama básico de la estrategia se corresponden con la numeración de la Tabla 1; S es fracción sólida y L es fracción líquida, obtenidas de un proceso de separación (2)



europeo. No se considera en ningún caso el coste de transporte de purines o de productos obtenidos del tratamiento. Las estrategias sobre las que no se ha conseguido información económica se indica mediante SRE (sin referencias económicas). No se consideran (NSC) en esta evaluación los costes de transporte, los costes debidos a capacidad de almacenamiento o los costes de dosificación de aditivos para equilibrar la relación NPK, en función de necesidades específicas de cultivos.

Sobre los diagramas de flujo básicos indicados en la Tabla 3, así como sobre los costes de tratamiento, existe una casuística de variaciones considerable, dependiendo de múltiples factores, tales como implantación individual o colectiva, tratamiento único de purines o co-tratamiento con otros residuos orgánicos, origen de los purines (maternidad o engorde), o país de referencia en relación a los precios de la energía y costes de trata-

miento. De aquí el amplio rango de algunos intervalos de costes.

Considerando una generación media de 1 m<sup>3</sup> de purines por cada cerdo hasta llegar a un peso vivo de 100 kg, el coste en €/m<sup>3</sup> de purines se traduciría aproximadamente en el mismo valor numérico en unidades de € por cada kg de peso vivo. La internalización de los costes de tratamiento correspondería a un incremento del precio de venta a matadero, a fin de financiar la gestión de los residuos producidos por la actividad ganadera.

No es posible determinar con exactitud un incremento de precio de animales vivos que asegure la internalización de costes en cualquier situación y zona geográfica. La aplicación simultánea de varias estrategias en una zona geográfica determinada, com-

binando estrategias de recuperación de nutrientes y producción energética para agrupaciones densas de granjas, con otras de eliminación de nutrientes y compostaje de fracciones sólidas, podrían dar lugar a costes de tratamiento global que no superen los 4-6 €/kg de peso vivo al final del engorde. El desarrollo de herramientas de gestión para hacer posible la internalización de costes ambientales, guiar la modificación de procesos productivos para minimizar y prevenir, y aplicar estrategias efectivas en función de cada situación geográfica, a fin de minimizar los costes globales de producción, se configura como una necesidad ineludible.

## Conclusiones

No existen soluciones tecnológicas únicas aplicables

en cualquier situación. Debe avanzarse en la combinación de procesos para cumplir objetivos concretos y de calidad de los productos.

Los requerimientos tecnológicos de tratamiento han de ser resultado de un plan de gestión por áreas geográficas, el cual ha de aportar una visión global de la problemática e integral de las soluciones. Los planes de gestión han de englobar desde las prácticas de minimización y prevención hasta las herramientas de internalización de costes. El sector debe desarrollar y dotarse de estas herramientas, de las cuales las estrategias de tratamiento son sólo un instrumento y no un objetivo en si mismo.

## Agradecimientos

El presente artículo es un resumen de parte del estudio "Evaluación de tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos aplicables en Catalunya", financiado por la Junta de Residuos de la Generalitat de Catalunya (convenio UdL CTT-C0497).

Los requerimientos tecnológicos han de ser resultado de un plan de gestión por áreas geográficas

## Bibliografía

■ Bonmatí, A. (2001). Usos de la energía térmica para la mejora del proceso de digestión anaerobia de purines de cerdo y para la recuperación de productos de interés. Tesis doctoral. Universidad de Lleida.

■ Bonmatí, A., Flotats, X., Mateu, L., Campos, E. (2001). Study of thermal hydrolysis as a pre-treatment to mesophilic anaerobic digestion of pig slurry. *Water Science and Technology*, 44(4) pp 109-116.

■ Bonmatí, A., Flotats, X. (2003<sup>1</sup>). Air Stripping of Ammonia from Pig Slurry: Characterization and Feasibility as a Pre- or Post-Treatment to Mesophilic Anaerobic Digestion. *Waste Management*. In press. Publicado en Science Direct.

■ Bonmatí, A., Flotats, X. (2003<sup>2</sup>). Pig slurry concentration by vacuum evaporation: influence of previous mesophilic anaerobic digestion process. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 53:21-31.

■ Calvo, V. (2002). Integración de nuevas tecnologías en la gestión de biosólidos. *Ediporc*, 56, pp 36-42.

■ Campos, E. (2001). Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos de la industria alimentaria. Tesis doctoral. Universidad de Lleida

■ Flotats, X. (2000). Perspectivas de futuros desarrollos e iniciativas en la gestión y tratamiento de purines. *RETEMA, Revista Técnica de Medio Ambiente*, marzo-abril, pp 37-47.

■ Flotats, X., Bonmatí, A., Campos, E., Teira, M.R. (2000). El proceso de secado de purines en el marco de una gestión integral de residuos ganaderos. *RESIDUOS*, 53, pp 40-46.

■ Flotats, X., Campos, E. (2001). Hacia la gestión integrada y co-tratamiento de residuos orgánicos. *RETEMA, Revista Técnica de Medio Ambiente*, 81, pp 41-53.

■ Flotats, X., Campos, E., Palatsi, J., Bonmatí, X. (2001). Digestión anaerobia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la industria alimentaria. *Porci; Monografías de actualidad*, 65, pp 51-65.